

## РАСЧЕТ РЕЖИМОВ РЕЗАНИЯ ПРИ СВЕРЛЕНИИ, ЗЕНКЕРОВАНИИ И РАЗВЕРТЫВАНИИ В САПР -ТП

Смолин В. Д.

Самарский государственный аэрокосмический университет, г. Самара.

Назначение режима резания при обработке отверстий осевым инструментом достаточно актуальная задача при использовании станков общего назначения и станков с ЧПУ. Ее грамотное решение снижает стоимость продукции и сокращает сроки подготовки производства. Основными трудностями на пути решения этой задачи является отсутствие удовлетворительных математических моделей, описывающих процессы в системе СПИД, и недостаточная систематизация исходных данных к имеющимся стойкостным и силовым зависимостям. Кроме того эксплуатация САПР -ТП делает на производстве первые шаги, побуждая его к переходу на более высокий уровень культуры производства. Математическая модель рассматриваемой задачи состоит из критерия оптимальности и системы технологических ограничений. В качестве критерия оптимизации обычно используется переменная часть себестоимости ( $A_{пер}$ ), зависящая от параметров рассматриваемого перехода

$$A_{пер} = T_m S + \frac{t_{см} E}{Q} + \frac{S}{Q}, \quad (1)$$

где  $E$  –стоимость станко –минуты без учета инструментальной составляющей;  $S$  –затраты на инструмент за период стойкости ( $T$ );  $t_{см}$  –время на замену инструмента, отнесенное к  $T$ ;  $Q$  –Количество деталей, изготовленных за период  $T$ ;  $T_m$  –машинное время.

Из зависимости (1) можно получить оптимальное по себестоимости перехода значение величины стойкости инструмента:

$$T = \left( \frac{1}{m} - 1 \right) \left( t_{см} + \frac{S}{E} \right), \quad (2)$$

где  $m$  –показатель относительной стойкости.

Основным технологическим ограничением является стойкостная зависимость (3), где  $V$ ,  $S$ ,  $t$  –параметры режима резания;  $D$  –диаметр сверла (зенкера, развертки);  $C_v$  –коэффициент, характеризующий нормативные условия работы;  $K_v$  –суммарный поправочный коэффициент, учитывающий разницу с нормативными условиями обработки;  $m$ ,  $x_v$ ,  $y_v$ ,  $z_v$  –показатели степени в нормативной зависимости (3).

$$V = C_v D^{z_v} K_v / T^m S^{x_v} t^{x_v} \quad (3)$$

Методика определения оптимального сочетания ( $V$ ,  $S$ ,  $t$ ) известна для линейной математической модели. Однако, при линеаризации через логарифмирование приходится упрощать зависимость (1), которая теряет при этом экстремальный характер. Данная методика и ее последующие модернизации предусматривали ручной выбор исходных данных для расчета, обусловленный разнообразием обрабатываемых и инструментальных материалов, варьированием условиями лезвийной обработки, границами существования зависимости (3) и других технологических ограничений. То есть для расчета режима резания в САПР –ТП требуется разработка банка данных и механизма его использования для автоматизированного выбора нужной для расчета информации.

Принципиальным для данной задачи является объем и характер информации, задаваемой заводским технологом для функционирования САПР –ТП и пригодной для решения режимной задачи. Естественно, чем больше информации, тем точнее расчет и больше нагрузка на технолога. В нашем случае входными данными при сверлении, рассверливании, зенкеровании и развертывании являются:  $D_1$  и  $d_1$  –наибольший и наименьший диаметры поверхности резания;  $\delta$  –допуск на изготовление;  $R_a$  –среднее арифметическое отклонение профиля,  $R_z$  –высота неровностей по ГОСТ 2789 –73 или класс шероховатости ( $V$ ) обработанной поверхности;  $L$  –длина обработки; марка обрабатываемого материала, его твердость (HB, HRC или HRC<sub>s</sub>) и тип заготовки; марка материала режущей части инструмента или код группы (быстрорежущая сталь –1, твердый сплав ВК –2, твердый сплав ТК –3); марка станка, на котором будет обрабатываться отверстие, и тип закрепления заготовки. Технологию необходимо выбрать маршрут обработки отверстия. Этих входных данных достаточно для выбора из базы данных остальной части исходной для расчета информации, которая уже ЭВМ заносится в ведомость исходных данных (ВИД).

В качестве базовой принята геометрия сверла типа N по ГОСТ4010 –77 в следующем объеме:  $\phi$ ,  $\phi_1$ ,  $\phi$ ,  $k$  (диаметр сердцевин),  $\alpha$ ,  $\Delta$  (высота ленточки),  $\theta$  (угол стружкоотводящей канавки),  $B_0$  (ширина пера)  $\omega$ ,  $f_{\text{max}}$  (ширина ленточки). В этот же блок включен допустимый износ по ленточкам или уголкам ( $h_3$ ). Эти данные выбираются ЭВМ из базы по инструменту. Приведенные параметры сверла можно откоррек-

тировать вручную, после чего использовать в ограничениях по прочности сверла, прочности механизмов станка, точности изготовления и заданной шероховатости.

Техника пользования составляющими базы данных (БД) базируется на возможностях, которые предоставляют табличные процессоры Super-Calc 4 (SC4) и Excel. Эти пакеты удачно сочетают в себе возможность организации достаточно емких баз данных с простой и удобной процедурой обработки этих данных с помощью макросов.

База данных состоит из большого числа составляющих, одна из которых «по обрабатываемым материалам». Фрагмент базы по материалам представлен в таблице 1. Таблица содержит 75 марок различных металлов

Таблица 1.

	A	C	D	G	H	I	R
25	Марка Mat	Код ГМ	$\sigma_B$	Стар марка	Реж инстр	КМРИ	КС
43	Ст 45	КГМ11	61		T30K4	КМРИ3	1,0
57	20X13	КГМ2	80	ЭЖ2	T15K6	КМРИ3	0,9
95	OT4 -1	КГМ7	70		BK8	КМРИ2	1,0

и сплавов и может быть расширена по запросу пользователя. По заданной марке обрабатываемого материала выводится 18 различных параметров и показателей, так или иначе связанных с обрабатываемым материалом. Число этих данных связано с набором принятых технологических ограничений и требуемой точностью расчета, то есть возможности совершенствования программы практически не ограничены. В приведенном фрагменте аббревиатуры: КГМ – код обрабатываемого материала, КМРИ – код материала рабочей части режущего инструмента, КС – значение поправочного коэффициента в ограничении по шероховатости.

По команде //Data [1], позволяющей выполнять процедуры поиска и выборки данных в электронной таблице (ЭТ) по заданным критериям, в рабочую область таблицы выводится строка, соответствующая марке материала. Эта строка имеет фиксированное начало, что позволяет разместить данные в отведенных для них ячейках ВИД.

Фрагмент БД, содержащий сведения о металлорежущих станках по обработке отверстий, приведен в таблице 2. Из составляющей БД «по станкам» по марке станка выбирается две строки. В первой строке содержится ряд подач станка и некоторые его характеристики: Dmax – наибольший для данного станка диаметр сверла; Nэ/д – мощность приводного электродвигателя; Qдоп – наибольшее допустимое усилие на шпиндель в



осевом направлении, коэффициент полезного действия привода. Перечень характеристик станка может быть расширен. Это зависит от набора технологических ограничений в принятой математической модели.

Таблица 2.

	A	B	B	I	Y	Z	AA	AB
1280	Марка ст.	Пд1	Пд2	Пд9	Dmax	Nэ/д	Qдоп	η
1471	2H135	0,1	0,14	1,6	35	4.8	1500	0,81
1472	2H135	31,5	45	500				
1473	2M55	0,056	0,08	0,9	50	4.5	1800	0,79
1474	2M55	125	160	800				

Во второй строке, относящейся к тому же станку, расположен ряд частот вращения шпинделя (n). Макрос программы, содержащий оператор:

//DI A1280:AA1500~ Задание базы данных по станкам.

//DO A16:Z19~ Задание в ЭТ области для вывода данных по станку.

//DC B10:B11~ Задание блока критерия, для марки станка.

//DE~ Выборка данных в строку 17 и 18;

выводит нужные данные в фиксированную область ЭТ, где ими удобно пользоваться в процессе работы программы.

Наиболее сложной и трудоемкой частью системы определения режима резания является блок с данными по обрабатываемости, так как они разбросаны по различным источникам и методики их получения обычно несколько различаются, поэтому необходима их систематизация. Так в качестве основного технологического ограничения на подачу при сверлении приняты геометрические параметры сверла[2]:

$$S = C_S D^{z_s} \left( a - b \frac{l}{D} \right) K_S, \quad (4)$$

$C_S$ ,  $a$ ,  $b$ ,  $K_S$  – коэффициенты,  $z_s$  – показатель степени,  $l$  – глубина отверстия. Эти значения выбираются из базы по обрабатываемости. При этом учитываются: диаметр сверла (диапазоны 0,4 – 3 мм, 4 – 20,  $D > 20$ ), код группы материала (КГМ), индекс диапазона подачи, в котором правомерно использование зависимостей 3 и 4, код материала режущего инструмента. Фрагмент этой базы представлен в таблице 3. Из базы по обрабатываемости выбираются также параметры для формулы 3:  $C_V$ ,  $x_V$ ,  $y_V$ ,  $z_V$ ,  $m$  и другие.

Ответственным моментом алгоритма является выбор маршрута обработки отверстия. Здесь возможны следующие переходы: центрование,



сверление, рассверливание, зенкерование черновое, получистовое и чистовое; развертывание черновое, получистовое и чистовое; цекование и

Таблица 3.

	A	B	C	D	E	G	M
144	KГМ	ИНД	ПрПод	КМРИ	$C_v$	$y_v$	$C_s$
221	KГМ9	f	0,07-0,2	КМРИ1	4076	0,6	0,88
233	KГМ10	b	>0,2	КМРИ1	5246	0,5	2,2

зенкование. Вариантов комбинаций переходов с целью получить заданную шероховатость, нужный квалитет и отверстие заданного диаметра более 30. Возможен автоматический выбор соответствующей комбинации, но с последующей ручной корректировкой. Например, сверление, зенкерование чистовое, развертывание черновое и развертывание получистовое. Далее по алгоритму следует назначить глубину резания на переходы следующие за сверлением, начиная с последнего перехода. В примере это развертывание получистовое. При этом учитывается предшествующий переход и диаметр инструмента. Последним назначается размер инструмента для первого перехода (в примере это диаметр сверла).

По номеру ГОСТа и диаметру сверла из базы данных по инструменту выбирается  $L$  – длина сверла;  $l_p$  – длина режущей части; номер конуса Морзе;  $f$  – ширина ленточки;  $K$  – диаметр сердцевины сверла;  $\alpha$  – задний угол;  $\omega$  – угол наклона винтовой линии;  $h_z$  – допустимый износ, форма заточки вершины. Остальной инструмент считаем специальным

По диаметру инструмента и марке обрабатываемого материала выбирается нормативный период стойкости для всех переходов, учитывающий идеологию формул 1 и 2.

На данном этапе вполне достаточно исходных данных для расчета по формулам 3 и 4 величин  $S_t$  и  $V_t$ . Индекс «т» означает теоретическое значение величины подачи и скорости резания, которое следует скорректировать в соответствии с технологическими ограничениями и измененными условиями обработки (по сравнению с условиями, в которых были получены зависимости 3 и 4). Зависимости 3 и 4 для переходов рассверливания, зенкерования и развертывания несколько отличаются от зависимостей для сверления, поэтому следует вводить код перехода, по которому выходить затем на соответствующий макрос в программе. Здесь же удобно рассчитать  $P_{xt}$  – осевую составляющую силы резания,  $M_{кр,t}$  – крутящий момент при резании,  $N_t$  – мощность резания,  $n_t$  – частоту вращения шпинделя.

Следующим этапом алгоритма является выбор марки станка по условию:  $N_{э/д} > N_T / \eta$ . В программе должна быть заложена возможность ручной коррекции марки станка. Затем по марке станка в станочной базе выбирается уточненное значение  $N_{э/д}$ ,  $P_{хст}$  — предельная величина осевой нагрузки на шпиндель и уточненное значение  $\eta$ .

Далее идет коррекция полученных значений  $S_T$ ,  $V_T$ ,  $N_T$ ,  $P_{хг}$  путем выбора поправочных коэффициентов в соответствующих базах данных с целью получить оптимальное значение параметра. Это достаточно трудоемкая часть программы, так как для каждого фактора, влияющего на параметр необходима своя база данных, дающая возможность ее обработки на ПК (персональном компьютере). Искомая подача для сверления и рас-сверливания:  $S_0 = S_T \cdot K_{ис} \cdot K_{ис}$ , где  $K_{ис}$  — учитывает твердость обрабатываемого материала, его код и код материала инструмента;  $K_{ис}$  — вносит коррекцию на глубину резания и длину ( $l/D$ ).

Искомая скорость резания при сверлении учитывает наибольшее число факторов, по сравнению с другими переходами:

$V_0 = V_T \cdot K_{ив} \cdot K_{звв} \cdot K_{сожв} \cdot K_{IDV} \cdot K_{TV} \cdot K_{пв} \cdot K_{имв} \cdot K_{упв} \cdot K_{лр}$ , где  $K_{ив}$  — вносит поправку по твердости обрабатываемого материала, его группе и коду материала сверла;  $K_{звв}$  — поправочный коэффициент на скорость резания в зависимости от заточки головки сверла (Н — нормальная, НП — нормальная с подточкой поперечной кромки, Д — двойная форма заточки  $118^\circ/70^\circ$ , ДП — двойная с подточкой поперечной кромки, Р — радиусная форма заточки, РП — радиусная с подточкой перемычки);  $K_{сожв}$  — учитывает наличие смазывающе — охлаждающей жидкости и кода КГМ (код группы обрабатываемого материала);  $K_{IDV}$  — поправка на длину и диаметр отверстия ( $l/D$ );  $K_{TV}$  — учитывает фактический период стойкости инструмента и КГМ;  $K_{пв}$  — вносит поправку в зависимости от состояния поверхности перед обработкой (без корки, прокат, поковка) и КГМ;  $K_{имв}$  — учитывает группу инструментального материала (КМРИ), марку материала инструмента и КГМ;  $K_{упв}$  — поправочный коэффициент на скорость по наличию упрочняющего покрытия и количества переточек инструмента;  $K_{лр}$  — вносит поправку на длину рабочей части сверла (по номеру ГОСТа).

При зенкерowaniu и развертывании число факторов (ограничений), влияющих на параметр ( $S_0$ ,  $V_0$ ) несколько уменьшается, но необходимо дополнительно учитывать последовательность переходов и конкретный предшествующий переход.

После выбора всех необходимых поправочных коэффициентов производится коррекция значений  $S_T$ ,  $V_T$  и  $n_T$ , то есть подсчитываются

величины  $S_o$ ,  $V_o$ ,  $n_o$  для всей последовательности принятого варианта переходов. Полученные значения уточняются по станку, то есть по ряду  $n_{ст}$  выбирается диапазон внутри которого находится  $n_o$  ( $n_x, n_{x+1}[1]$ ). Затем по стойкостной зависимости (3) определяется  $S_{x+1}$ , соответствующая  $n_{x+1}$ , и корректируется по ряду подач станка ( $S_{ст}$ ), то есть выбирается подача  $S'_{ст}$ , ближайшая меньшая к  $S_{x+1}$ . Далее сравниваются два произведения  $n_x \cdot S_o$  и  $n_{x+1} \cdot S'_{ст}$  и большее из них определяет искомые параметры режима резания для перехода ( $S_{оф}$ ,  $n_{оф}$ ).

На следующем этапе определяется основное (машинное) время на всех переходах ( $T_o$ ). Для этого по соответствующим базам выбираются величины длин подвода, врезания и перебега. Они суммируются с длиной отверстия ( $L_p$ ) и по формуле  $T_o = L_p / (S_{оф} \cdot n_{оф})$  определяется время каждого перехода. Их сумма будет основным временем операции.

Последним этапом алгоритма является проверка электродвигателя станка по затрачиваемой мощности резания и допустимому усилию подачи. Здесь так же выбирается набор поправочных коэффициентов, учитывающих  $S_{оф}$ ,  $n_{оф}$  и КГМ на соответствующем переходе. Далее необходимо определить норму штучного времени на всю операцию.

Реализация приведенного алгоритма по определению режима резания при обработке отверстий требует большой работы над совершенствованием баз данных. Часть необходимого материала может быть получена путем анализа многочисленных публикаций в периодической печати, а часть требует дополнительных исследований.

#### Список литературы

1. Вестник СГАУ. Серия: Проблемы и перспективы развития двигателестроения. Выпуск 2. Часть 2. Самара, 1998. 250с.
2. Общемашиностроительные нормативы режимов резания. Справочник: В 2-х т.: Т. 1 / А. Д. Локтев и другие. -М.: Машиностроение, 1991. - 640 с.
3. Режимы резания труднообрабатываемых материалов: Справочник / Я. Л. Гуревич и другие. 2-е изд., переработ. и доп.-М.: Машиностроение, 1986, 240с.
4. Прогрессивные режущие инструменты и режимы резания металлов: Справочник/ В. И. Баранчиков и другие. Под общ. ред. В. И. Баранчикова.-М.:Машиностроение, 1990. 400с.